东北玉米肉鸡表观代谢能预测方程的建立

王　璐　肖志斌　芮于明　袁建敏*

（中国农业大学动物科学技术学院，动物营养国家重点实验室，北京 100193）

摘　要：本研究旨在通过实验室分析和肉鸡代谢试验，建立东北玉米养分含量与代谢能的回归方程，为生产提供便捷的玉米代谢能估算方法。试验 1：选取成熟季节不同的 20 种东北玉米，测定养分含量和容重，分析养分含量变异范围。试验 2：，用玉米、玉米皮、玉米碴按照 NDF、ADF 含量梯度配制人工玉米，再添加一定量的维生素和矿物质，配制成人工玉米代谢饲粮。选取正常饲养的商品代爱拔益加雄性肉鸡进行代谢试验，分别在 11～13 日龄及 25～27 日龄，用全收粪法测定人工玉米代谢饲粮表观代谢能（AME）、氮校正表观代谢能（AMEn）和养分表观消化率，并采用逐步回归法建立 AME 或 AMEn 与养分含量的回归方程。结果表明：东北玉米粗脂肪(EE)、中性洗涤纤维（NDF）及酸性洗涤纤维（ADF）含量变异系数系数相对较大，分别为 16.72%、14.65%、14.72%。肉鸡对人工玉米代谢饲粮的养分表观消化率在 11～13 日龄和 25～27 日龄之间存在差异，25～27 日龄肉鸡对人工玉米代谢饲粮粗蛋白质(CP)、EE 和总淀粉(STC)的表观消化率显著高于 11～13 日龄（$P<0.05$）；25～27 日龄肉鸡对人工玉米代谢饲粮的 AME、AMEn 也显著高于 11～13 日龄（$P<0.05$）。采用逐步回归法建立肉鸡东北玉米代谢能的预测方程为：11～13 日龄，AME=17.661-0.853×ADF(R^2=0.870,P<0.01)，AMEn=17.468-0.878×ADF(R^2=0.873,P<0.01)；25～27 日龄，AME=18.102-0.792×ADF(R^2=0.781,P<0.05)，AMEn=17.935-0.830×ADF(R^2=0.784,P<0.05)。通过预测方程计算所得人工玉米代谢饲粮 AME 的预测值与实测值很接近，计算所得的东北玉米 AME 符合预期值。由此测出，不同品种东北玉米 EE、NDF 及 ADF 的含量差异相对较大；肉鸡不同阶段玉米代谢能存在差异，计算肉鸡饲粮配方时，不同阶段饲粮代谢能应采用对应的代谢能值；低于 14 日龄的肉鸡，东北玉米 AME、AMEn 预测方程分别为 AME=17.661-0.853×ADF，

收稿日期：2017-03-27

基金项目：长江学者和创新团队发展计划(IRT0945)；北京市家禽创新团队（BAIC04-2016）

作者简介：王　璐（1994—），女，山西太原人，硕士研究生，研究方向为单胃动物营养。E-mail: 1185606214@qq.com

*通信作者：袁建敏，教授，博士生导师，E-mail: yuanjm@cau.edu.cn

AMEn=17.468-0.878×ADF；14 日龄以上肉鸡，东北玉米 AME、AMEn 预测方程分别为 AME=18.102-0.792×ADF，AMEn=17.935-0.830×ADF。

关键词：玉米；代谢能；养分；预测方程

中图分类号：S816　　　　　　文献标识码：A　　　　　　文章编号：

东北是我国玉米的主产区，建立东北玉米代谢能的预测方程，对于精准配制饲料具有重要意义。前人就家禽玉米代谢能的预测方程进行了大量的研究，建立了不同的预测方程[1-3]。玉米的代谢能受到品种、产地、气候[4-6]以及家禽品种和日龄的影响[7]，同时测定方法也是影响代谢能测定的重要因素，赵峰等[8]认为用套算法测定玉米代谢能可能存在基础饲粮与玉米之间的可加性问题。此外，统计方法也是影响预测模型是否准确的重要因素，Meloche 等[9]指出，逐步回归法是建立在因子对应变量存在显著性影响基础上的方法，比多元回归法更为准确。

虽然国内学者建立了东北玉米肉鸡代谢能预测模型[2]，但还没有根据肉鸡生长阶段建立预测东北玉米不同日龄肉鸡代谢能的模型。本试验旨在通过不同日龄肉鸡代谢试验，直接测定按照东北玉米特性配制的人工玉米代谢饲粮养分表观消化率和代谢能，通过逐步回归法建立东北玉米代谢能与养分含量的预测方程，为实际生产提供便捷的玉米代谢能估计方法。

1　材料与方法

1.1　试验 1：东北玉米特性分析

试验根据成熟期不同，分别收集早、中、晚熟的 20 个品种的玉米，采集色泽、气味正常，无霉变的棒穗各 5～8 个，人工脱粒，晾晒干燥至水分含量在 14%以下。

按照国家标准方法或试剂盒法测定玉米样品水分（GB/T 6435-2006）、粗蛋白质（CP）（GB/T 6432-1994）、粗脂肪(EE)（GB/T 6433-2006）、总淀粉(STC)（Megazyme 公司试剂盒，货号 K-TSTA）、粗纤维(CF)（GB/T 6433-2006）、中性洗涤纤维(NDF)（GB/T 20806-2006）、

酸性洗涤纤维(ADF)（GB/T 20806-2006）含量以及总能（GE）（氧弹式测热仪测定）、容重（VW）（GB 1353-1999），并以干物质含量为基准计算各养分含量，依据 20 种东北玉米常规养分含量变化范围分析东北玉米特性。

1.2 试验 2：东北玉米代谢能评定

1.2.1 人工玉米代谢饲粮配制

收集试验用玉米、玉米皮、玉米碴，检测养分含量。按照东北玉米养分（CP、EE、STC、NDF、ADF)含量变化范围，用玉米、玉米皮、玉米碴按照 NDF、ADF 含量梯度配制人工玉米，再添加一定量的维生素和矿物质，配制成人工玉米代谢饲粮，其组成及营养水平见表 1。

表 1 人工玉米代谢饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of artificial corn metabolic diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups					
	A	B	C	D	E	F
原料 Ingredients						
玉米 Corn	76.92	76.92	76.92	76.92	76.92	72.12
玉米碴 Samp	19.23	14.42	9.62	4.81		
玉米皮 Corn bran		4.81	9.61	14.42	19.23	24.03
石粉 Limestone	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
食盐 NaCl	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
微量元素预混料 Trace-mineral	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19

premix[2)						
二氧化钛 TiO_2	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels						
粗蛋白质 CP	9.10	9.41	9.53	9.78	10.30	10.34
粗脂肪 EE	4.03	4.00	4.50	4.35	4.70	4.87
总淀粉 STC	70.32	67.01	61.61	57.88	54.31	31.25
中性洗涤纤维 NDF	9.57	10.02	13.70	13.49	14.74	15.35
酸性洗涤纤维 ADF	1.79	2.06	2.41	2.84	3.20	3.30
总能 GE/(MJ/kg)	19.40	19.02	19.02	19.66	19.22	19.31

[1)] 维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kilogram of diets:VA 12 000 IU，VD_3 2 500 IU，VE 30 IU，VK_3 2.65 mg，VB_1 2 mg，VB_2 6 mg，VB_{12} 0.025 mg，生物素 Biotin 0.032 5 mg，叶酸 folic acid 1.25 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，烟酸 niacin 50 mg。

[2)] 微量元素预混料为每千克饲粮提供 Trace-mineral premix provided the following per kilogram of diets:：Cu 8 mg，Fe 80 mg，Mn 100 mg，Zn 100 mg，Se 0.30 mg，I 0.35 mg。

1.2.2 肉鸡代谢试验

试验选取 900 只 1 日龄的商品代艾拔益加（AA+）雄性肉鸡，按照商品肉鸡饲养要求饲喂商品肉鸡饲粮。分别于肉鸡 11、25 日龄时，将 432 只体重相近的肉鸡转移至代谢室，分为 6 个组，每个组 12 个重复，每个重复 6 只鸡。各组肉鸡空腹 14 h 后，分别饲喂 1 种人工玉米代谢饲粮，并开始收集粪便，饲喂 58 h 后停止饲喂饲粮，继续收集 14 h 粪便，共收集 72 h 粪便，每 24 h 收集 1 次。仔细挑拣出粪盘中的羽毛后，置于-20 ℃冰箱保存，将 3 d 的粪便混匀、烘干、称重，用于能量和常规养分含量测定。

1.2.3 指标检测

以重复为单位计算肉鸡人工玉米代谢饲粮及人工玉米的表观代谢能（AME）、氮校正

表观代谢能（AMEn）、养分表观消化率、体增重，计算公式如下：

饲粮 AME（MJ/kg DM）=（耗料量×饲粮 GE－粪量×粪 GE）/耗料量；

饲粮 AMEn（MJ/kg DM)=饲粮 AME－氮沉积（RN）×34.39=饲粮 AME－（摄入氮－排出氮）×34.39；

某养分表观消化率（%）=（食入饲粮中该营养素含量－粪中该营养素含量）/食入饲粮中该营养素含量×100；

体增重（kg）=试验后体重－试验前体重；

人工玉米 AME（MJ/kg DM）=饲粮 AME/0.961 5；

人工玉米 AMEn（MJ/kg DM）=饲粮 AMEn/0.9615。

1.3 数据统计分析

利用 SPSS 16.0 的单因素方差分析（one-way ANOVA）程序进行方差分析，对差异显著的数据进行 Duncan 氏法多重比较检验，以 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 分别作为检验各项数据差异显著性和极显著性的依据，并采用逐步回归法建立 AME、AMEn 的预测方程。

2 结果与分析

2.1 东北玉米特性

20 种东北玉米的常规养分 CP、EE、STC、NDF、ADF、CF 含量，GE 及 VW 的平均值分别为 9.46%、4.07%、68.64%、9.21%、1.93%、2.78%、18.83 MJ/kg、748.73 g/L（表 2）。分析该结果表明，东北玉米 EE、NDF 及 ADF 含量的变异系数最高，分别为 16.72%、14.65%、14.72%，说明不同品种东北玉米之间 EE、NDF 及 ADF 含量的差异相对较大。

表 2 20 种东北玉米常规养分含量（干物质基础）

Table 2 Conventional nutrient contents of 20 kinds of corn in Northeast China (DM basis) %

品种 Varieties	粗蛋白质 CP/%	粗脂肪 EE/%	总淀粉 STC/%	中性洗涤纤维 NDF/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	粗纤维 CF/%	总能 GE/（MJ/kg）	容重 VW/（g/L）
农华 101 *Nonghua* 101	9.39	3.53	65.20	9.25	1.82	2.72	18.82	764.10
屯玉 556 *Tunyu* 556	9.83	3.80	68.45	9.82	2.10	2.93	18.95	744.28
屯玉 88 *Tunyu* 88	9.53	3.53	71.92	11.22	2.02	2.72	18.83	744.44
先玉 335 *Xianyu* 335	8.67	3.30	75.23	7.55	1.59	2.31	18.68	743.56
屯玉 99 *Tunyu* 99	9.64	4.18	69.88	10.55	2.01	3.01	18.93	782.50
郑单 958 *Zhendan* 958	8.65	4.23	71.58	7.32	1.53	2.55	19.00	768.30
良玉 99 *Liangyu* 99	9.86	3.72	72.61	10.04	1.94	2.88	18.87	779.62
屯玉 4911 *Tunyu* 4911	9.52	3.72	70.23	10.96	1.76	2.61	18.89	763.12
京科 968 *Jingke* 968	9.57	3.05	71.83	9.44	1.75	2.44	18.27	747.68
德美亚 1 号 *Demeiya* 1	9.70	5.87	70.90	8.67	2.10	2.83	19.15	792.32
德美亚 2 号 *Demeiya* 2	9.69	4.46	70.63	6.42	1.71	2.45	18.86	772.1
德美亚 3 号 *Demeiya* 3	8.73	3.94	70.32	10.31	2.42	2.89	18.6	748.12
绥玉 10 *Suiyu* 10	10.62	3.88	66.25	9.30	1.99	2.88	18.76	777.16
绥玉 23 *Suiyu* 23	8.64	4.40	66.95	8.92	2.17	2.87	18.74	703.86
吉单 27 *Jidan* 27	9.36	3.79	57.24	8.72	2.00	3.28	18.67	746.98
吉单 519 *Jidan* 519	8.49	4.37	70.23	9.62	2.54	3.03	18.83	707.68
嫩单 26 *Nendan* 26	9.81	4.74	67.74	7.96	2.00	2.79	18.91	725.68
嫩单 18 *Nendan* 18	9.85	3.99	67.41	8.59	1.86	3.20	19.04	638.82

嫩单 24 *Nendan* 24	9.63	3.48	67.22	8.08	1.92	2.79	18.69	725.68
天农九 *Tiannongjiu*	9.98	5.37	60.93	11.50	1.32	2.38	19.07	798.53
平均值 Mean	9.46	4.07	68.64	9.21	1.93	2.78	18.83	748.73
最大值 Maximum	10.62	5.87	75.23	11.50	2.54	3.28	19.15	798.53
最小值 Minimum	8.49	3.05	57.24	6.42	1.32	2.31	18.27	638.82
变异系数 CV/%	5.85	16.72	5.99	14.65	14.72	9.42	1.03	4.89

2.2 人工玉米代谢饲粮的常规养分含量的相关性

由表 3 可知，人工玉米代谢饲粮中 STC 含量与 CP、EE、NDF、ADF 含量均表现为极显著负相关（P<0.01），CP、EE、NDF、ADF 含量之间均表现为极显著正相关（P<0.01），与东北玉米特性基本相符。

表 3 人工玉米代谢饲粮常规养分含量的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of conventional nutrient contents of artificial corn metabolic diets

项目 Items	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	总淀粉 STC	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF
粗蛋白质 CP	1				
粗脂肪 EE	0.905**	1			
总淀粉 STC	-0.860**	-0.874**	1**		
中性洗涤纤维 NDF	0.898**	0.965**	-0.807**	1**	
酸性洗涤纤维 ADF	0.981**	0.915**	-0.852**	0.944**	1**

**表示极显著相关（$P<0.01$）。

** indicated extremely significant negative correlation （$P<0.01$）.

2.3 肉鸡代谢试验结果

2.3.1 肉鸡代谢能（干物质基础）、养分表观消化率及体增重

由表 4 可知，11～13 日龄期间，肉鸡的 AME、AMEn 组间差异极显著（$P<0.01$）；各养分表观消化率中，EE、STC、NDF、ADF 的表观消化率组间差异极显著（$P<0.01$），CP 的表观消化率组间差异不显著（$P>0.05$）；此外，肉鸡体增重组间差异极显著（$P<0.01$）。

25～27 日龄期间，肉鸡 AME、AMEn 的组间分析结果与 11～13 日龄基本一致，均为差异极显著（$P<0.01$）；各养分表观消化率中，CP、EE 的表观消化率组间差异显著（$P<0.05$），STC、NDF、ADF 的表观消化率与 11～13 日龄分析结果一致，组间差异极显著（$P<0.01$）；此外，肉鸡体增重各组间差异极显著（$P<0.01$）。

25～27 日龄期间，除 E 组外，肉鸡同种人工玉米代谢饲粮的 AME、AMEn 均极显著高于 11～13 日龄（$P<0.05$）；CP、EE、STC 表观消化率指标均高于 11～13 日龄的相应指标，其中 EE 表观消化率各组不同阶段间均有极显著差异（$P<0.01$）；除 A 组外，其余各组的 NDF、ADF 表观消化率均低于 11～13 日龄相应指标，其中 C、F 组差异显著或极显著（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。

2.3.2 东北玉米 AME、AMEn 预测方程的建立

根据 AME、AMEn 与饲粮养分含量的相关分析结果，选择与 AME、AMEn 具有显著相关关系的饲粮养分含量为预测因子，利用逐步回归法建立回归方程，方程参数见表 5。

表 4　肉鸡 AME、AMEn、养分表观消化率及体增重测定结果

Table 4　Measured results of AME, AMEn, nutrient apparent digestibility and BWG of broilers

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups							
		A	B	C	D	E	F	SEM	组间 *P* 值 *P*-value for groups
表观代谢能 AME/（MJ/kg DM）	11～13	16.38	15.84	15.25	15.62	15.21	15.05	0.076	<0.001
	25～27	16.92	16.30	16.01	16.33	15.57	15.76	0.071	<0.001
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.003	0.001	<0.001	0.003	0.259	<0.001		
氮校正表观代谢能 AMEn/（MJ/kg DM）	11～13	16.14	15.59	15.01	15.38	14.93	14.77	0.075	<0.001
	25～27	16.69	16.04	15.77	16.08	15.29	15.45	0.070	<0.001
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.001	0.001	<0.001	0.002	0.230	<0.001		

粗蛋白质表观消化率 CP apparent digestibility/%	11～13	47.61	48.39	46.50	45.69	50.12	48.68	0.673	0.467
	25～27	43.78	45.86	38.36	38.93	48.37	46.84	1.118	0.037
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.251	0.315	<0.001	0.163	0.721	0.204		
粗脂肪表观消化率 EE apparent digestibility/%	11～13	76.50	72.37	65.43	66.83	67.10	64.41	1.091	0.006
	25～27	84.06	81.99	81.97	76.21	81.81	81.32	0.635	0.013
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.006	0.002	<0.001	0.004	0.008	<0.001		
总淀粉表观消化率 STC apparent digestibility/%	11～13	98.86	97.80	96.91	97.58	97.68	97.76	0.141	0.003
	25～27	98.88	99.04	98.87	98.58	98.93	98.25	0.061	0.001
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.898	<0.001	<0.001	0.008	0.064	0,.237		
中性洗涤纤维表观消化率 NDF	11～13	3.908	4.936	9.738	1.430	12.959	3.293	1.470	0.190
	25～27	5.333	0.874	-8.770	-13.216	2.706	-7.785	2.054	0.046

apparent digestibility/%	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.842	0.308	<0.001	0.093	0.138	0.003		
酸洗涤纤维表观消化率 ADF apparent digestibility/%	11～13	-34.558	-12.702	5.960	-9.239	-1.092	-9.623	2.258	<0.001
	25～27	-23.347	-15.578	-8.778	-25.378	-10.401	-19.080	2.513	0.309
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.370	0.579	0,.002	0.089	0.244	0.032		
体增重 BWG/kg	11～13	0.09	0.09	0.13	0.14	0.17	0.18	0.005	<0.001
	25～27	0.08	0.04	0.14	0.04	0.23	0.30	0.016	<0.001
	日龄间 *P* 值 *P*-value for days of age	0.282	0.026	0.844	0.014	0.022	<0.001		

表 5　基于东北玉米养分组成按逐步选项建立的 AME 和 AMEn 的回归模型

Table 5　Stepwise selection of regression models for AME and AMEn based on nutrient composition of corn in Northeast China

日龄 Days of age	参数 Parameter	表观代谢能 AME					氮校正表观代谢能 AMEn				
		ADF	NDF	CP	EE	STC	ADF	NDF	CP	EE	STC
11～13	*P* 值 *P*-value	<0.004	0.365	0.823	0.408	0.773	<0.004	0.463	0.950	0.361	0.724
	截距 Intercept	17.661					17.468				
	RC	-0.853					-0.878				
	SE	0.146					0.148				
	R^2adj	0.870					0.873				
25～27	*P* 值 *P*-value	0.012	0.979	0.578	0.643	0.931	0.012	0.904	0.502	0.612	0.969
	截距 Intercept	18.102					17.935				
	RC	-0.792					-0.830				
	SE	0.183					0.190				
	R^2adj	0.781					0.784				

RC：回归系数 regression coefficient；SE：标准误 standard error；R^2adj：校正 R^2 adjusted R^2；ADF：酸性洗涤纤维 acid detergent fiber；NDF：中性洗涤纤维 neutral detergent fiber；CP：粗蛋白质 crude protein；EE：粗脂肪 ether extract；STC：总淀粉 total starch。

根据表 5 得出肉鸡 AME 和 AMEn 回归方程，具体如下。

11～13 日龄肉鸡 AME（MJ/kg DM）、AMEn(MJ/kg DM)回归方程：AME=17.661-0.853×ADF(R^2=0.870，P<0.01)；AMEn=17.468-0.878×ADF(R^2=0.873，P<0.01)。

25～27 日龄肉鸡 AME（MJ/kg DM）、AMEn（MJ/kg DM）回归方程：AME=18.102-0.792×ADF(R^2=0.781，P<0.05)；AMEn=17.935-0.830×ADF(R^2=0.784，P<0.05)。

将数据代入上述方程，得出人工玉米代谢饲粮的 AME、AMEn 计算值，与实测值进行对比，结果如表 6 所示。

表 6　肉鸡人工玉米代谢饲粮 AME、AMEn 实测值与计算值对比

Table 6　Comparison of calculated and measured AME and AMEn values of artificial corn metabolic diets for broilers

MJ/kg DM

组别 Groups	11～13 日龄 11 to 13 days of age				25～27 日龄 25 to 27 days of age			
	表观代谢能 AME		氮校正表观代谢能 AMEn		表观代谢能 AME		氮校正表观代谢能 AMEn	
	实测值 Measured value	计算值 Calculated value	实测值 Measured value	计算值 Calculated value	实测值 Measured value	计算值 Calculated value	实测值 Measured value	计算值 Calculated value
A	16.38	16.36	16.14	16.13	16.92	16.89	16.69	16.67
B	15.84	15.85	15.59	15.61	16.30	16.42	16.04	16.18
C	15.25	15.48	15.01	15.22	16.01	16.07	15.77	15.81
D	15.62	15.36	15.38	15.10	16.33	15.96	16.08	15.69
E	15.21	15.17	14.93	14.90	15.57	15.79	15.29	15.51
F	15.05	15.13	14.77	14.86	15.76	15.75	15.45	15.47

2.3.3　东北玉米肉鸡 AME 预测值

根据不同日龄肉鸡 AME 预测方程以及其他不同预测方程计算东北玉米肉鸡 AME 如表 7。可以看出，按照张子仪等[1]给出的 2 个预测方程计算出的东北玉米肉鸡 AME 远高于本试验结果，而根据赵养涛[2]给出的 2 个预测方程，将计算结果即使校正成干物质结果也较本试验结果偏低。

表 7　不同预测方程计算东北玉米肉鸡表观代谢能

Table 7　AME of corn in Northeast China for broilers calculated from different prediction equations

MJ/kg DM

项目 Items	11～13 日龄 13 days of age		25～27 日龄 25 to 27 days of age		根据张子仪等[1]的预测方程计算的表观代谢能 The AME was calculated according to the prediction equation of Zhang et al[1]1)	根据张子仪等[1]的预测方程计算的表观代谢能 The AME was calculated according to the prediction equation of Zhang et al[1]2)	根据赵养涛[2]的预测方程计算的表观代谢能 The AME was calculated according to the prediction equation of Zhao[2]3)	据赵养涛[2]的预测方程计算的表观代谢能 The AME was calculated according to the prediction equation of Zhao[2]4)
	表观代谢能 AME	氮校正表观代谢能 AMEn	表观代谢能 AME	氮校正表观代谢能 AMEn				
平均值 Mean	16.02	15.78	16.58	16.34	18.02	16.30	12.60	13.94

最大值 Maximum	16.54	16.31	17.06	16.84	18.29	16.53	16.50	15.84
最小值 Minimum	15.50	15.24	16.09	15.83	17.75	16.06	11.56	10.86
变异系数 CV/%	1.51	1.58	1.35	1.44	0.70	0.78	8.68	7.77

1) AME=(4.513-0.107×ADF/DM)×4.184。

2) AME=(4.219-0.116×CF/DM)×4.184。

3) AME=20.188 5-0.154 8CP-0.04EE-1.689 7CF。

4) AME=-0.359 98-0.661CF-0.0335NDF+0.239STC。

3 讨 论

3.1 东北玉米特性分析

试验 1 对 20 种东北玉米进行了常规养分分析，并分析得出东北玉米的特性。试验结果表明，不同东北玉米之间，EE、NDF 及 ADF 的含量差异相对较大，其他养分含量的差异相对较小，与李全丰[10]对我国玉米养分含量变异看法类似。本试验测定的 20 个东北玉米的 CF 含量平均值为 2.78%，高于赵养涛[2]测定的 17 个玉米样品的平均值 1.70%，但 STC 含量在本试验中测得的平均值为 68.64%，低于赵养涛[2]的 73.21%。这说明采集的样品养分含量与品种、年份等种植条件有关，采用人工玉米来进行模拟研究时，可在更大范围内准确评价其生物学有效性。

3.2 日龄对养分表观消化率和代谢能的影响

本研究表明，25～27 日龄肉鸡对同种人工玉米代谢饲粮的 CP、EE、STC 表观消化率及 AME、AMEn 均高于 11～13 日龄的相应指标。Kato 等[11]采用替代法测定了 1～7、8～14、15～21、22～

28、29～35 和 36～42 日龄肉鸡玉米代谢能，发现 1～7 日龄肉鸡的代谢能显著低于其他日龄阶段，22～28 日龄肉鸡玉米 AME（16.29 MJ/kg DM)显著高于 14～21 日龄肉鸡玉米 AME（16.10 MJ/kg DM)。Huang 等[12]认为 28 日龄肉鸡对玉米氨基酸的消化率显著高于 14 日龄，28 日龄与 42 日龄相似。De Lima 等[13]认为肉鸡对玉米蛋白粉的代谢能在 10～40 日龄间按照 3.11 kJ/(kg・d)逐渐升高，说明肉鸡不同生长阶段饲粮代谢能应不同。

3.3 东北玉米肉鸡 AME 预测方程的建立

国内学者研究建立了一些预测东北玉米肉鸡代谢能的回归方程。聂大娃[14]对东北地区 17 种玉米进行常规分析，根据常规养分含量之间的相关性挑选出 NDF、粗灰分（ASH）、STC 含量作为预测因子，逐渐加入其他养分分别建立了一元、二元、三元、四元预测方程。结果表明，一元方程 AME 与 STC 决定系数较好，AME＝-7.494 6+0.315 9STC(R^2＝0.705 5，P＝0.000 1)；AME＝-23.194 6+0.745 9STC-0.0029STC^2 (R^2＝0.7046，P＝0.0002)。赵养涛[2]研究认为，限制玉米营养价值的主要指标是 CF、NDF 和 ASH，而提供能量的指标是 STC、EE 和 CP。赵养涛[2]分别利用不同的回归分析方法建立东北地区玉米 AME 与玉米常规养分含量间的回归方程：AME=9.421 9-0.021 1DM-0.039 4CP-0.061 9EE-0.807 3CF-0.052 2NDF-1.096 4ASH+0.0028VW+0.1287STC(R^2=0.847 5，P=0.012 8)；逐步回归方程：AME=6.186 4-0.868 1CF-1.154 8ASH+0.170 5STC(R^2=0.813 1，P=0.000 1)；营养指标与 AME 的其他回归方程：AME=-0.822 4-0.954 8ASH+0.242 6STC(R^2=0.728 0，P=0.000 1)；AME=20.188 5-0.154 8CP-0.04EE-1.689 7CF(R^2=0.425 5，P=0.058 6)；AME=-0.359 98-0.661CF-0.033 5NDF+0.239STC(R^2=0.723 2，P=0.000 6)。本试验研究结果与国内外相关研究结果不完全一致。在采用逐步回归模型构建东北玉米肉鸡 AME 预测方程时，发现 CP、EE、STC、NDF 含量对 AME 的影响不显著，只有 ADF 显著。张子仪等[1]认为对鸡来说，CF 和 ADF 可任取一个作为估测 AME 的抗营养因子。本试验研究的玉米饲粮，ADF 或 CF 是家禽饲料中的主要抗营养因子，家禽并不

能消化。尽管一些研究表明家禽饲料 AME 与 NDF 含量呈现显著负相关，可以用 NDF 建立玉米 AME 的回归模型[15]。实际上，ADF 比 NDF 更难消化，本试验前期 ADF 表观消化率在高 ADF 饲粮中均为负值，远远低于 NDF 表观消化率的测定结果。张子仪等[1]提出家禽玉米 AME=(4.219-0.116×CF/DM)×4.184 或 AME=(4.513-0.107×ADF/DM)×4.184。本研究采用张子仪等[1]提供的预测方程计算发现，其用 ADF 和 CF 建立的预测方程估测的东北玉米肉鸡 AME 均偏高，可能与张子仪等[1]是采用蛋公鸡获得的模型有关，在那个年代主要用成年公鸡来进行代谢试验，而成年蛋公鸡处于氮平衡，其饲粮代谢能高于商品肉鸡[16]。本研究发现，按预测方程计算东北玉米肉鸡 AME、AMEn 分别为 16.02、15.78MJ/kg DM，按 14%水分折合成风干样分别为 13.79 和 13.59 MJ/kg，与中国饲料数据库通常认为的玉米代谢能为 13.50 MJ/kg 非常接近。按赵养涛[2]提出的 2 个预测方程计算东北玉米风干样的 AME 分别为 12.58 和 13.92 MJ/kg。本研究结果与赵养涛[2]提出的预测方程 AME=-0.359 98-0.661CF-0.033 5NDF+0.239STC 所得结果相近，说明本试验所建立的回归方程可以准确地预测东北玉米肉鸡 AME。

4 结 论

① 不同品种东北玉米 EE、NDF 及 ADF 的含量差异相对较大。

② 肉鸡不同阶段玉米代谢能存在差异，计算肉鸡饲粮配方时，不同阶段饲粮代谢能应采用对应的代谢能值。

③ 低于 14 日龄的肉鸡，东北玉米 AME、AMEn 预测方程分别为 AME=17.661-0.853×ADF，AMEn=17.468-0.878×ADF；14 日龄以上肉鸡，东北玉米 AME、AMEn 预测方程分别为 AME=18.102-0.792×ADF，AMEn=17.935-0.830×ADF。

参考文献：

[1] 张子仪,吴克谦,吴同礼,等.应用回归分析评定鸡饲料表观代谢能值的研究[J].畜牧兽医学

报,1981,12(4):223–230.

[2] 赵养涛.不同玉米肉仔鸡表观代谢能的研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2008:14－35.

[3] ALVARENGA R R,RODRIGUES P B,ZANGERONIMO M G,et al.Validation of prediction equations to estimate the energy values of feedstuffs for broilers:performance and carcass yield[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2013,26(10):1474–1483.

[4] COWIESON A J.Factors that affect the nutritional value of maize for broilers[J].Animal Feed Science and Technology,2005,119(3/4):293–305.

[5] O'NEILL H V M,LIU N,WANG J P,et al.Effect of xylanase on performance and apparent metabolisable energy in starter broilers fed diets containing one maize variety harvested in different regions of China[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2012,25(4):515–523.

[6] YEGANI M,KORVER D R.Effects of corn source and exogenous enzymes on growth performance and nutrient digestibility in broiler chickens[J].Poultry Science,2013,92(5):1208–1220.

[7] BATAL A B,PARSONS C M.Effects of age on nutrient digestibility in chicks fed different diets[J].Poultry Science,2002,81(3):400–407.

[8] 赵峰,张子仪.对家禽饲料代谢能值评定方法中若干误区的探讨[J].动物营养学报,2006,18(1):1–5.

[9] MELOCHE K J,KERR B J,SHURSON G C,et al.Apparent metabolizable energy and prediction equations for reduced-oil corn distillers dried grains with solubles in broiler chicks from 10 to 18 days of age[J].Poultry Science,2013,92(12):3176–3183

[10] 李全丰.中国玉米猪有效营养成分预测方程的构建[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2014:38–50.

[11] KATO R K,BERTECHINI A G,FASSANI E J,et al.Metabolizable energy of corn hybrids for broiler chickens at different ages[J].Ciência e Agrotecnologia,2011,35(6):1218–1226.

[12] HUANG K H,RAVINDRAN V,LI X,et al.Influence of age on the apparent ileal amino acid digestibility of feed ingredients for broiler chickens[J].British Poultry Science,2005,46(2):236–245.

[13] DE LIMA M B,RABELLO C B V,DE SILVA E P,et al.Effect of broiler chicken age on ileal digestibility of corn germ meal[J].Acta Scientiarum Animal Sciences,2012,34(2):137–141.

[14] 聂大娃.不同地区玉米肉仔鸡代谢能研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2008:31–40.

[15] ZHAO F,ZHANG H F,HOU S S,et al.Predicting metabolizable energy of normal corn from its chemical composition in adult pekin ducks[J].Poultry Science,2008,87(8):1603–1608.

[16] PISHNAMAZI A,POURREZA J,EDRISS M A,et al.Influence of broiler breeder and laying hen breed on the apparent metabolizable energy of selected feed ingredients[J].International Journal of Poultry Science,2005,4(3):163–166.

Prediction Equation of Apparent Metabolizable Energy of Corn in Northeast China for Broilers*

WANG Lu XIAO Zhibing GUO Yuming YUAN Jianmin*

（*State Key Laboratory of Animal Nutrition*, *College of Animal Science and Technology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*）

*Corresponding author, professor, E-mail: yuanjm@cau.edu.cn (责任编辑 菅景颖)

Abstract： This study aimed to establish the regression equations for metabolizable energy of corn in Northeast China for broilers based on nutrient contents by the methods of laboratory analysis and metabolic test for broilers, in order to provide a convenient estimation method for corn metabolizable energy in production. In trial 1, twenty kinds of corn from Northeast China with different mature seasons were used to measure the nutrient contents and volume-weight, and to analyze the variation ranges of nutrient contents. In trial 2, artificial corn metabolic diets were formulated by artificial corn and a certain amount of vitamins and minerals, and the artificial corn were formulated by corn, samp and corn bran based on the graded level of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents. Arbor Acres broilers raised as normal production were used to complete metabolism test at the age of 11 to 13 days and 25 to 27 days by the total collection method. The apparent metabolizable energy (AME), nitrogen corrected apparent metabolizable energy (AMEn) and nutrient apparent digestibility of artificial corn metabolic diets for broilers were measured, and the stepwise regression method was used to establish regression equations for AME or AMEn and nutrient contents. The results showed that the variance coefficients for the contents of ether extract (EE), NDF and ADF of corn in Northeast China were relatively larger, and they were 16.72%, 14.65% and 14.72%, respectively. There were differences in the nutrient apparent digestibility of artificial corn metabolic diets for broilers between 11 to 13 days of age and 25 to 27 days of age. Among them, broilers fed artificial corn metabolic diets at 25 to 27 days of age had significantly greater crude protein (CP), EE and total starch (STC) apparent digestibility, AME and AMEn than those of broilers at 11 to 13 days of age （P<0.05）. The prediction equations for metabolizable energy of corn in Northeast China for broilers using stepwise regression method showed as follows: AME=17.661-0.853×ADF (R^2=0.870, P<0.01) and AMEn=17.468-0.878×ADF (R^2=0.873, P<0.01) for 11 to 13 days of age; AME=18.102-0.792×ADF (R^2=0.781, P<0.05) and AMEn=17.935-0.830×ADF (R^2=0.784, P<0.05) for 25 to 27 days of age. The calculated values of AME for artificial corn metabolic diets using prediction equations were close to the measured values, and the calculated values of AME for corn in Northeast China met the expected values. In conclusion, the differences of contents of EE, NDF and ADF of corn in Northeast China are relatively larger among different varieties. Different stage diets should take the corresponding metabolizable energy values when calculate the feed formula for broilers, because broilers at different stage have different corn metabolizable energy. The prediction equations of AME and AMEn of corn in Northeast China are AME=17.661-0.853×ADF(R^2=0.870, P<0.01) and AMEn=17.468-0.878×ADF (R^2=0.873, P<0.01) for broilers less than 14 days of age, and AME=18.102-0.792×ADF(R^2=0.781, P<0.05) and AMEn=17.935-0.830×ADF (R^2=0.784, P<0.05) for broilers more than 14 days of age, respectively.

Key words: corn; metabolic energy; nutrient; prediction equation